

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-91416

(P2001-91416A)

(43)公開日 平成13年4月6日(2001.4.6)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 1 N 1/00
33/00

識別記号

1 0 1

F I

G 0 1 N 1/00
33/00

デマコト*(参考)

1 0 1 Q
C

審査請求 有 請求項の数5 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平11-273373

(22)出願日 平成11年9月27日(1999.9.27)

特許法第30条第1項適用申請有り 1999年3月28日~3月31日 社団法人応用物理学会開催の「1999年(平成11年)春季第46回応用物理学関係連合講演会」において文書をもって発表

(71)出願人 391012316

東京工業大学長

東京都目黒区大岡山2丁目12番1号

(72)発明者 森泉 豊栄

東京都世田谷区奥沢3-22-6

(72)発明者 中本 高道

東京都町田市広袴町403-14

(72)発明者 石田 寛

神奈川県横浜市港北区小机町2600-125

(72)発明者 徳弘 崇文

東京都府中市栄町1-32-49

(74)代理人 100058479

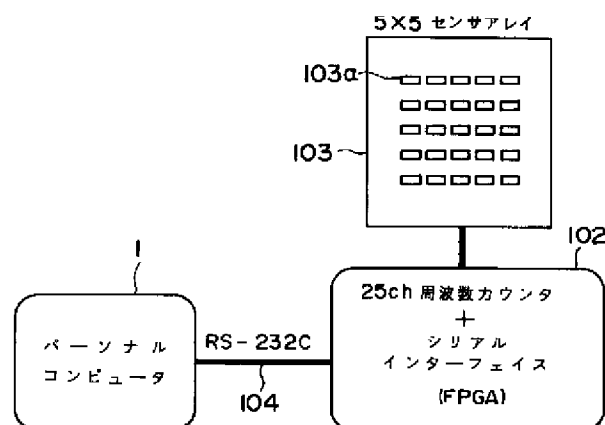
弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

(54)【発明の名称】 におい・ガス流可視化装置およびにおい・ガス流計測装置

(57)【要約】

【課題】ガスセンサの配置位置の選定を行う必要がなく、風の局所的な乱れの影響を受けにくく、短時間で信頼性の高いにおい・ガス流の方向判定が可能となるにおい・ガス流可視化装置を提供する。

【解決手段】1または複数のにおい・ガスセンサを二次元平面上に配列した複数のセンサアレイを組み合わせ、におい・ガス流の濃度変化を多点計測するにおい・ガス流計測手段と、このにおい・ガス流計測手段で計測された濃度変化を可視化する可視化手段とを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 1または複数のにおいて・ガスセンサを二次元平面上に配列した複数のセンサアレイを組み合わせ、において・ガス流の濃度変化を多点計測するにおいてガス流計測手段と、

このにおいて・ガス流計測手段で計測された濃度変化を可視化する可視化手段と、

を具備したことを特徴とするにおいて・ガス流可視化装置。

【請求項2】 1または複数のにおいて・ガスセンサを二次元平面上に配列した複数のセンサアレイを組み合わせ、において・ガス流の濃度変化を多点計測するにおいてガス流計測手段と、

このにおいて・ガス流計測手段で計測された濃度変化を可視化する可視化手段と、

前記可視化された濃度変化に基づきにおいて・ガス流の方向および流速を測定する測定手段と、

を具備したことを特徴とするにおいて・ガス流計測装置。

【請求項3】 前記1または複数のセンサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことを特徴とする請求項1または請求項2記載のにおいて・ガス流計測装置。

【請求項4】 1または複数のにおいて・ガスセンサを二次元平面上に配列したセンサアレイと、

このセンサアレイにおいて・ガス流の濃度変化を多点計測して該計測された濃度変化を可視化する可視化手段と、

を具備し、
前記センサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことを特徴とするにおいて・ガス流可視化装置。

【請求項5】 1または複数のにおいて・ガスセンサを二次元平面上に配列したセンサアレイと、

このセンサアレイにおいて・ガス流の濃度変化を多点計測して該計測された濃度変化を可視化する可視化手段と、

前記可視化された濃度変化に基づきにおいて・ガス流の方向および流速を測定する測定手段と、

を具備し、
前記センサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことを特徴とするにおいて・ガス流可視化装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】において・ガスセンサを並べた小型のセンサアレイを用い、空気中を漂うにおいてガスの流れを動画像として可視化するにおいて・ガス流可視化装置およびそれをを用いたにおいて・ガス流計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、において・ガスの発生源を探索する装置としては、以下の研究がある。

【0003】 (1) 平中幸雄、山崎弘郎：半導体ガスセンサアレイによるガス濃度分布の可視化 *Transaction of Sensor Technology Research*, ST-88-4, IEE of Japan, 1988, pp. 33-42. ガスセンサを2次元平面上に並べて巨大なセンサアレイを製作し、発生源から広がるガス濃度分布の全体像を計測する。得られた像はコンピュータ画面上に可視化され、最も濃度の高い場所を探すことにより発生源位置が分かる。しかし、においてやガスが発生すると予想される場所に予めセンサを配置しておく必要があり、汎用性に欠ける。

【0004】 (2) 特開平7-12671、特開平7-260618
上記(1)の問題点を解決するため、本願発明者は発生源方向を判定する小型装置を用い、得られた方向に移動して発生源を探索する方法を提案した。風向を求めるセンサとガスセンサを使用し、空間の中の1点で計測したガス濃度勾配と風向を組み合わせ、発生源の方向を判定する。しかし、風が不安定な環境では局所的な風の乱れの影響を受け、方向判定の信頼性が低い。また、一般室内のような風速5 cm/s以下の微風速に適用可能な風向センサは少ないため、このような環境での使用は困難であった。

【0005】 (3) 特開平8-261893、特願平8-121996

上記(2)における風向センサの問題点を解決するため、これを使用しない方式の発生源方向判定装置を本願発明者が提案した。小型ファンを用いて前方からガスを吸引し、ファンの前に並べたガスセンサの応答差を測定してにおいて・ガス源の方向を判定する。しかし、上記(2)と同様に空間の1点で得た情報に基づいて判定を行うため、局所的な風の乱れの影響を受けやすいという問題点がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 以上説明したように、従来は、において・ガス源の方向判定を行う際に、においてガスセンサの配置位置の選定が困難であったり、局所的な風の乱れの影響を受けやすいという問題点があった。

【0007】 そこで、本発明は、多数のにおいて・ガスセンサを用いてにおいて・ガス濃度変化の多点計測を行うことにより、風の局所的な乱れの影響を受けにくく、短時間で信頼性の高い方向判定が可能となり、しかも、可搬な小型のセンサアレイを用いて、において・ガス源の方向判定を行うことにより、において・ガス流の発生源の周囲に予めセンサが配置されている必要がなく、汎用性の高いにおいて・ガス流可視化装置およびそれをを用いたにおいて・ガス流計測装置を提供することを目的とする。

【0008】すなわち、本発明のにおい・ガス流可視化装置によれば、におい・ガスセンサを並べた小型のセンサアレイを用い、この小型センサアレイ上を流れ去る空气中を漂うにおい・ガスの流れを動画像として可視化し、これにより指し示す方向に従って移動すれば、においやガスの発生源を容易にしかも正確に発見することができる。また、におい・ガスの流れる方向と速度から、風向と風速を計測することができる。

【0009】

【課題を解決するための手段】（１）本発明のにおい・ガス流可視化装置は、１または複数のにおい・ガスセンサを二次元平面上に配列した複数のセンサアレイを組み合わせて、におい・ガス流の濃度変化を多点計測するにおい・ガス流計測手段と、このにおい・ガス流計測手段で計測された濃度変化を可視化する可視化手段とを具備したことを特徴とする。本発明によれば、におい・ガスセンサの配置位置の選定を行う必要がなく、風の局所的な乱れの影響を受けにくく、短時間で信頼性の高いにおい・ガス流の方向判定が可能となる。特に、におい・ガス流を位置平面的に捉えるセンサアレイを複数組み合わせることで、あらゆる方向からのにおい・ガス流を同時多点計測できる。また、におい・ガスセンサに水晶振動子におい・ガスセンサを用いた場合、におい・ガスの瞬間的な濃度変化にもすばやく追従できるという利点がある。

【0010】（２）本発明のにおい・ガス流計測装置は、１または複数のにおい・ガスセンサを二次元平面上に配列した複数のセンサアレイを組み合わせて、におい・ガス流の濃度変化を多点計測するにおい・ガス流計測手段と、このにおい・ガス流計測手段で計測された濃度変化を可視化する可視化手段と、前記可視化された濃度変化に基づきにおい・ガス流の方向および流速を測定する測定手段とを具備したことを特徴とする。本発明によれば、におい・ガスセンサの配置位置の選定を行う必要がなく、風の局所的な乱れの影響を受けにくく、短時間で信頼性の高いにおい・ガス流の方向判定が可能となる。特に、におい・ガス流を位置平面的に捉えるセンサアレイを複数組み合わせることであらゆる方向からのにおい・ガス流を同時多点計測することができ、その結果を合成することで、より正確におい・ガス流の方向、速度の測定が行える。また、におい・ガスセンサに水晶振動子におい・ガスセンサを用いた場合、におい・ガスの瞬間的な濃度変化にもすばやく追従できるという利点がある。

【0011】（３）また、上記１または複数のセンサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことにより、におい・ガス流の流れ方向のうち、センサ検知面に乱気流を発生させるような成分は遮蔽されて、検知面と平行な成分だけを取り出して測定することができる。よって、より正確におい・

・ガス流の方向、速度の測定が行える。

【0012】（４）本発明のにおい・ガス流可視化装置は、１または複数のにおい・ガスセンサを二次元平面上に配列したセンサアレイと、このセンサアレイでにおい・ガス流の濃度変化を多点計測して該計測された濃度変化を可視化する可視化手段とを具備し、前記センサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことを特徴とする。本発明によれば、におい・ガスセンサの配置位置の選定を行う必要がなく、風の局所的な乱れの影響を受けにくく、短時間で信頼性の高いにおい・ガス流の方向判定が可能となる。特に、センサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことにより、におい・ガス流の流れ方向のうち、センサ検知面に乱気流を発生させるような成分は遮蔽されて、検知面と平行な成分だけを取り出して測定することができる。よって、より正確におい・ガス流の方向、速度の測定が行える。また、におい・ガスセンサに水晶振動子におい・ガスセンサを用いた場合、におい・ガスの瞬間的な濃度変化にもすばやく追従できるという利点がある。

【0013】（５）本発明のにおい・ガス流可視化装置は、１または複数のにおい・ガスセンサを二次元平面上に配列したセンサアレイと、このセンサアレイでにおい・ガス流の濃度変化を多点計測して該計測された濃度変化を可視化する可視化手段と、前記可視化された濃度変化に基づきにおい・ガス流の方向および流速を測定する測定手段とを具備し、前記センサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことを特徴とする。本発明によれば、におい・ガスセンサの配置位置の選定を行う必要がなく、風の局所的な乱れの影響を受けにくく、短時間で信頼性の高いにおい・ガス流の方向判定が可能となる。特に、センサアレイには、その検知面に平行な板状体を該検知面に所定の間隔を存して配したことにより、におい・ガス流の流れ方向のうち、センサ検知面に乱気流を発生させるような成分は遮蔽されて、検知面と平行な成分だけを取り出して測定することができる。よって、より正確におい・ガス流の方向、速度の測定が行える。また、におい・ガスセンサに水晶振動子におい・ガスセンサを用いた場合、におい・ガスの瞬間的な濃度変化にもすばやく追従できるという利点がある。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0015】（第１の実施形態）

（構成と動作）図１は、本実施形態にかかるにおい・ガス流可視化装置の構成例を示したものである。この装置で用いるセンサアレイ３は、パルス駆動型半導体におい・ガスセンサ素子（例えば、TGS2440、Figaro技研）C11～C15、C21～C25、C31～

C35、C41～C45、C51～C55を25個用い、これを5行5列の2次元アレイ状に並べたものである。アレイ3の一辺の長さは、例えば55mmである。

【0016】空気中を漂う希薄なにおい・ガスを検出するためには、高感度なセンサが必要となる。また、発熱の大きいセンサを微風速環境下で数多く並べて用いると、アレイ自身が対流を起こし、流れを変えてしまう。このため、消費電流が少ないセンサが望ましい。

【0017】通常の半導体におい・ガスセンサは、素子加熱用ヒータの消費電力が大きいという欠点がある。本実施形態で用いるパルス駆動型センサは応答を測定するときのみ素子を瞬間的に加熱して用いるため、ヒータ消費電力が小さく、多数のセンサを並べても発熱が小さい。

【0018】パーソナルコンピュータ1は、装置全体の制御を行う。このコンピュータ1からの指令を受け、制御回路2ではセンサアレイ3から1行分のセンサ（5個）を選択し、電源電圧を印加して、選択された1行分のセンサのヒータを瞬間加熱する。半導体におい・ガスセンサはにおい・ガスを検出すると電気抵抗が減少し、素子を流れる電流が増加する。

【0019】対数変換回路4は、この電流変化を対数変換し、それをA/D変換器5でアナログ信号からデジタル信号へ変換した後、測定値をコンピュータ1にとりこむ。

【0020】対数変換回路4は、5組の演算増幅器（対数アンプ）4a～4eで構成され、1つの回路にはセンサアレイ3の縦1列のセンサが並列に接続されている。すなわち、センサ素子C11～C15からのセンサ応答信号は演算増幅器4aに inputs し、センサ素子C21～C25からのセンサ応答信号は演算増幅器4bに inputs し、センサ素子C31～C35からのセンサ応答信号は演算増幅器4cに inputs し、センサ素子C41～C45からのセンサ応答信号は演算増幅器4dに inputs し、センサ素子C51～C55からのセンサ応答信号は演算増幅器4eに inputs している。

【0021】このうち、制御回路2で選択された横1行のセンサのみに電流が流れ、同時に横1行の5個のセンサ応答を測定する構成となっている。選択する行を順次切り替えることによって25個全てのセンサ応答を測定し、この操作を所時間おきに繰り返す。

【0022】次に、図2に示すタイミングチャートを参照して、図1のセンサアレイ3の動作について説明する。

【0023】図1のH1～H5はセンサアレイ3のセンサ素子のヒータを駆動する電源線である。図2に示すように、初めに幅T1のヒータ電圧パルスを電源線H1に印加し、第1行目（最も上の行）に並ぶ5つのセンサ素子C11、C21、C31、C41、C51を加熱する。全素子を同時加熱すると、パルス駆動素子を利用し

ても瞬間的に大電流が流れるために、行毎に加熱する方式をとる。このときの電源電圧は例えば5Vで、ヒータ電圧パルスは、例えば、周期 $T_2 = 0.25$ 秒ごとに繰り返し与える。

【0024】センサ応答の測定は、ヒータ電圧パルスの印加からT3秒毎に行う。

【0025】図1のS1～S5はセンサ素子抵抗測定用の電源線である。図2に示すように、電源線S1に幅15msの電圧パルスを与えると、第1行目の5個のセンサ素子C11、C21、C31、C41、C51に電流が流れる。これを演算増幅器4a～4eで増幅し、A/D変換器5でアナログ信号からデジタル信号に変換した後、パーソナルコンピュータ1にて値を測定する。

【0026】演算増幅器4a～4eのそれぞれには、センサアレイ3の縦一列のセンサ素子が並列に接続されているが、電圧パルスが加えられた横一列のセンサ素子のみに電圧がかかり、その素子を通して電流が流れる。

【0027】図2に示すように、以上の操作を例えば15msずつづらして全ての行に対して行う。

【0028】パーソナルコンピュータ1では、測定した電流値からセンサの素子抵抗を計算し、次式に従ってセンサ応答 r を計算する。

$$\text{【0029】} \quad r = R_{gas} / R_{air} \quad \dots (1)$$

但し、 R_{gas} はにおい・ガス中のセンサの素子抵抗、 R_{air} は空気中のセンサの素子抵抗を表し、 r はにおい・ガス濃度の単調減少関数である。

【0030】本実施形態で用いたパルス駆動型半導体におい・ガスセンサのエタノールガスに対する応答校正曲線を図3に示す。同図ではガス中におけるセンサ抵抗 R_{gas} と空気中における抵抗 R_{air} の比、 R_{gas} / R_{air} をセンサ応答 r として用いた。希薄なppmレベルのガスに反応してセンサ応答 $r = R_{gas} / R_{air}$ が減少していることが分かる。

【0031】さて、得られたセンサ応答を映像化するために、ガス濃度の高低を白黒の濃さ（画像輝度）で表す。画素の輝度 b を

$$b = 255 \times (1 - r) \quad \dots (2)$$

として表示することにより、ガス濃度が高く、 r が小さい場所ほど明るい画像が得られる。ここで、係数255は、パーソナルコンピュータ1で表示可能な濃淡の階調数である。

【0032】（におい・ガス流可視化実験）以上説明したようなにおい・ガス流可視化装置を用いたにおい・ガス流可視化実験は、図4に示すような風洞で行った。風洞のほぼ中央ににおい・ガスセンサアレイ3を設置し、ACファン11を用いて風を起こした。また、におい・ガス発生源として、エタノール飽和蒸気を噴出するノズルを用い、その噴出口12からの噴出量は 50 ml/min とした。噴出口12とセンサアレイ3との距離は4

5 cmである。

【0033】においやガス分子の拡散速度は非常に遅く、噴出口12から放出されたにおいガス分子は風に運ばれて広がる。もし、風洞内の風が完全に層流であれば、におい・ガスは噴出口12から一筋の連続した帯のように風下に広がる。しかし、図3に示す風洞の風には現実の環境と同様に乱れがあり、におい・ガスの分布が揺らぐ。このため、煙突からたなびく煙のように、におい・ガス濃度の高い部分と低い部分の模様を持ったにおい・ガス雲がセンサアレイ3上を風下に流れて行く。

【0034】センサアレイ3の25個のセンサ素子の中から風と並行に並ぶ5個のセンサ素子を選び、そのセンサ応答 r を図5に示す。図5に示したセンサ素子は、風上からNo. 20、No. 19、No. 18、No. 17、No. 16の順に並んでいる。図5からにおい・ガスに反応することには、風上のセンサ素子No. 20の応答値が最初に減少を始め、以下、センサ素子の並んでいる順に反応していることがわかる。逆に図5には示していないが、センサが回復を始める際にも応答値が同じ順で増加を始める。この反応・回復の順序は、におい・ガス流の向きと対応している。

【0035】そこで、センサアレイ3の25個のセンサ素子のセンサ応答 r をコンピュータ画面上に映像化し、観察する。

【0036】図6に、このような状況でセンサアレイ3の25個のセンサ応答を動画像として可視化した結果を示す。同図(a)～(d)はセンサ素子がにおい・ガスに反応を始めた際の映像を表し、(e)～(h)はにおい・ガスが通り過ぎてセンサが回復を始めた際の映像で

ある。色の白い部分が高濃度のにおい・ガスを表すが、図6では可視化像の移動が見やすいようにセンサ応答を2値化し、反応しているセンサの場所には無地の(色の白い)矩形を、反応していないセンサの場所には斜め斜線のはいた(色の濃い)矩形を描いた。

【0037】図6から明らかなように、におい・ガスが左から右に流れている様子が確認された。

【0038】(方向推定アルゴリズム)以上説明したようなにおい・ガス流可視化装置によって、図6に示したようなにおい・ガス流の可視化画像が得られれば、におい・ガス流の方向を人間が見て判断できる。また、各種画像処理アルゴリズムを用いて方向および流速を自動判定することも可能である。このにおい・ガス流の可視化画像から方向と流速を判定する処理は、図1のパーソナルコンピュータ1で行うことができる。

【0039】ここでは、将来の計算を回路化してリアルタイム処理を行うことを考え、計算の容易なオプティカルフローの拘束方程式による方向推定法(B. K. P. Horn, "ロボットビジョン" 朝倉書店、305～328、1993)を用い、方向の自動判定を行う場合について説明する。

【0040】におい・ガスの分子拡散を無視し、可視化されたにおい・ガス濃度分布が一定の形状を保ったまま2次的にセンサアレイ3上を流れると仮定する。におい・ガス流の x 軸方向成分を u 、 y 軸方向成分を v とすれば、オプティカルフローの拘束方程式は、

【0041】

【数1】

$$\frac{\partial b}{\partial x} u + \frac{\partial b}{\partial y} v + \frac{\partial b}{\partial t} = 0 \quad \dots (3)$$

【0042】となる。

【0044】

【0043】第 i 行 j 列目の画像輝度を b_{ij} とおき、上式(3)に含まれる微分を中心差分近似すると、

【数2】

$$\frac{b_{i+1,j}(k\Delta t) - b_{i-1,j}(k\Delta t)}{2\Delta t} u + \frac{b_{i,j-1}(k\Delta t) - b_{i,j+1}(k\Delta t)}{2\Delta t} v + \frac{b_{i,j}(k\Delta t + \Delta t) - b_{i,j}(k\Delta t - \Delta t)}{2\Delta t} = 0 \quad \dots (4)$$

【0045】但し、センサアレイ3のセンサ素子の配置間隔 $\Delta l = 11 \text{ mm}$ 、サンプリング時間 $\Delta t = 250 \text{ ms}$ であるとする。におい・ガス流の流速ベクトル(u 、 v)は、上式(4)を $i = 2, 3, 4$ 、 $j = 2, 3, 4$ に対して連立し、最小2乗法により求めることができる。

【0046】ここで、図6に示した可視化画像に対し、上述した手法に従い、におい・ガス流の方向および流速の推定を行った結果を図7に示す。

【0047】方向推定は、サンプリング周期 $\Delta t = 250 \text{ ms}$ 毎に行ったが、図6に示した結果においては、図5において隣接している画像の中間の時刻の推定値を示

した。方向は右向きを 0° とし、半時計回りを正とした。図6に示す画像の移動方向とおおよそ対応した方向が得られた。風洞内の風向きは 0° を中心に変動しており、得られた方向はこれと一致している。

【0048】得られたにおい・ガス流の速さはセンサの反応時より回復時の方が小さかったが、これはセンサの回復速度が反応速度に比べて遅いためであり、においやガスの流れをリアルタイムに可視化するためには、センサ反応の回復が十分に高速なセンサを用いることが好ましい。あるいは、センサの動作条件を最適化してセンサ反応の回復速度の高速化を図ることもできる。

【0049】例えば、前述のT1やT3の設定値によ

り、センサの応答特性は変化するため、始めに、これらにおいて・ガスセンサの動作条件を最適化すればよい。

【0050】すなわち、上述のヒータ電圧パルス幅T1の値が小さいほどエタノールガスに対するセンサ応答の回復時間が短くなり、センサの応答感度もデータ測定タイミングT3によって異なり、T1の値を小さくするほど低下する。そこで、感度と回復速度とのバランスを考え、感度をほぼ同等に保ったまま回復が高速になるように、T1やT3の値を設定すればよい。

【0051】において・ガスセンサの動作条件を最適化して、センサのエタノールガスに対応する回復速度を改善することにより、おおよそ流速が1～2 cm/sまでのにおいて・ガス流を可視化することができる。

【0052】（まとめ）このように、上記した空气中に漂うにおいて・ガスの発生源を探索するにおいて・ガス流可視化装置によれば、パルス駆動型半導体において・ガスセンサを5×5個並べた小型のセンサアレイ3を用い、そのセンサ応答を動画像として捉えることにより、アレイ上を通り過ぎるにおいて・ガス流を可視化する。得られた画像からにおいて・ガス流の方向を判定し、これをたどってにおいて・ガス源を探索する。多点計測（本実施形態で説明したような行単位の微少な時間差（において・ガス流の濃度変化を無視できる程度の微少な計測時間差）は許容されるが、実質的にセンサアレイ3の全てのにおいて・ガスセンサによる同時多点計測）を行ってにおいて・ガスの濃度変化を測定することにより、短時間で信頼性の高い方向判定が可能となる。また、画像の移動方向と速度から、において・ガスを運ぶ風の風向・風速を求めることができる。

【0053】風洞内において・ガス流の可視化実験を行った結果、2 cm/s程度の微少なにおいて・ガス流を可視化して、それを用いてにおいて・ガス流の方向を正しく推定できることが確認され、従来は、探索が困難であった微風速環境や風の乱れの大きな環境への応用が期待できる。

【0054】以上説明したように、上記実施形態によれば、において・ガス流方向を短時間で信頼性高く判定することが可能になり、において・ガス発生源を容易に探索することができる。探索するターゲットとしては、ガス漏れ箇所や火災発生箇所などが考えられる。得られた画像を表示して人間がにおいて・ガス流方向を判定するだけでなく、各種画像処理手法を用いれば方向を自動判定することも可能である。これを移動ロボットに取り付ければ、危険ガスの発生源探知などにも応用できる。また、現在、微風速に対する有効な計測手段が少ない。しかし、空气中ににおいてガスを意図的に放出し、その流れを可視化すれば、本装置を微風速・風向計として使用することができる。従来、各種煙が可視化に用いられているが、風速がcm/sオーダーになると沈降してしまう。において・ガスの方が風に対する追従性が高いため、微風速

場では本装置が有効である。

【0055】（第2の実施形態）パルス駆動型半導体において・ガスセンサを用いたにおいて・ガス流可視化装置は、半導体において・ガスセンサの応答速度は速いがその回復速度が不十分であり、それが可視化に影響を与える。そこで、上記第1の実施形態では、パルス駆動型半導体において・ガスセンサを用い、ヒータ駆動電圧のパルス波形を最適にし、従来の半導体において・ガスセンサと同等の感度を持たせつつ回復速度を速め、風洞内でエタノールガスの流れを可視化するものであった。しかし、それでもセンサの回復速度が数十秒程度かかり、において・ガスの噴出開始時と終了時以外は流れを判定することばできない。

【0056】そこで、第2の実施形態では、常時において・ガスの流れを判定できるにおいて・ガス流可視化装置の実現を目的とし、センサには応答回復速度の速い水晶振動子において・ガスセンサを採用した場合について説明する。

【0057】ここでは、まず、において・ガス流可視化装置の原理と第2の実施形態に係るにおいて・ガス流可視化装置の構成について説明する。その後、風洞内において・ガス流の可視化実験を行った結果を示す。

【0058】（原理）において・ガス流可視化装置は、同種のにおいて・ガスセンサを並べて数センチ四方のセンサアレイを構成し、その上を通過するにおいて・ガスの瞬間分布を動画像として得る。

【0059】風に全く乱れが無ければ、ブルーム（一般ににおいて・ガス分子の拡散速度は非常に遅く、において・ガス分子は主に風の動きに乗って雲状に広がる。この雲をブルームと呼ぶ）はにおいて・ガス源から一筋の帯のように、切れ目無く伸びる。しかし、現実には風に必ず乱れがあり、ブルームは不規則、不連続な形状となる。このように複雑な分布を持ったにおいて・ガスがアレイ上を流れていくため、において・ガスセンサが濃度の瞬時的な変化に追従すれば、において・ガスの分布が流れる様子を可視化することができる。

【0060】第2の実施形態に係る装置によりにおいて・ガス源を探知する際には、装置自身を人間が手に持つか、またはロボットに搭載し、得られたにおいて・ガス流の方向をたどってロボットを移動させる。

【0061】（小型水晶振動子において・ガスセンサ）このような原理により、において・ガスの流れを可視化するには、個々のにおいてガスセンサがにおいて・ガスの瞬間的な濃度変化にすばやく追従できなければならない。パルス駆動型半導体において・ガスセンサを用いた場合、センサの応答回復速度が遅く、十分な性能が得られなかった。すなわち、において・ガス噴出開始直後、において・ガスがアレイに到着する様子と、において・ガス噴出停止後ににおいて・ガスの流れ去る様子が確認できた以外は流れを獲認することはできなかった。

【0062】そこで、第2の実施形態では、水晶振動子において・ガスセンサの採用を検討した。水晶振動子において・ガスセンサの時定数は通常1秒以下であるため（青柳、中本、森泉、電子情報通信学会総合大会、194、C-13-8（1999））、装置の性能向上が期待される。センサアレイには高密度にセンサを実装するため、センサは小型である必要がある。また、高周波回路で起こりやすい引き込み、干渉などの影響を考えると発振回路を内蔵しているもの（発振回路内蔵型小型水晶振動子）が望ましい。

【0063】例えば、ここで用いた発振回路内蔵型小型水晶振動子（FCXO-02、リバーエレテック）は、A T-cut、銀電極、共振周波数は28MHz、大きさ4×8mmである。振動子表面に塗布する感応膜にはフォスファチジルコリンを用い、周波数シフトが10KHzとなるようにスプレー法により塗布した。

【0064】第1の実施形態では、エタノールガスを対象としたが、ここでは、トリエチルアミンを用いた。トリエチルアミン臭は悪臭の一つであり、その発生源を感知することは環境計測有用である。このアミンに対して比数的感度が大きく、応答回復時間の速いという理由からフォスファチジルコリン膜を感応膜として選択した。

【0065】図8（a）は、第1の実施形態で使用したパルス駆動型半導体において・ガスセンサ（例えば、TGS2440）のエタノールガスに対する応答波形の例を、図8（b）に第2の実施形態に係る小型水晶振動子において・ガスセンサのトリエチルアミンガスに対する応答波形の例を示す。測定は、例えば、図4に示した風洞（幅70cm、高さ35cm、長さ80cm）の中で、において・ガスを噴出するノズル（において・ガス源）から風下に30cmの地点にセンサ3、103を設置して応答を測定した（図4参照）。風洞内の平均風速は約18cm/秒である。ただし、において・ガスの噴出速度は図8（a）では50ml/分、図8（b）では75ml/分である。

【0066】風洞内の風でさえ乱れがあるのでにおいて・ガスのブルームは不規則に蛇行し、また不連続になっている（T. Yamanaka, H. Ishida, T. Nakamoto, T. Moriizumi, Sensors and Actuators A, 69, 77~81（1998））。このためセンサを設置した位置においても瞬間的な濃度変化が起こっているはずである。しかし、図8（a）のパルス駆動型半導体において・ガスセンサでは回復が遅く、濃度変化が捉えられていない。また、において・ガス噴出を止めた後の回復も遅い。図8（b）の小型水晶振動子において・ガスセンサの応答波形では、空気中における発振周波数を基準（0Hz）において・ガス中における発振周波数の変化を時間軸で示している。において・ガス噴出中において発振周波数に変化があることがわかる。において・ガスを噴出している

間、常にスパイク状の濃度変化を捉えることができおり、において・ガス噴出を止めた後の回復も早い。

【0067】以上2つの測定はにおいて・ガスの種類も異なり、また風速などの環境も若干違うため、単純には比較できない。しかし、において・ガス流可視化装置への適用を考えるならば、水晶振動子において・ガスセンサを用いることでにおいて・ガスの瞬間的な濃度変化にすばやく追従でき、パルス駆動型半導体において・ガスセンサを用いた場合における問題点を改善できる。

【0068】（装置構成）小型水晶振動子において・ガスセンサアレイを用いたにおいて・ガス流可視化装置の構成を図9に示す。この装置は、センサアレイ部103、多チャンネル（例えば、25チャンネル（25ch））周波数カウンタおよびシリアルインターフェイス部102、そしてコンピュータ1と3つに大別できる。

【0069】センサアレイ部103は、例えば、上記したような発信回路内蔵型小型水晶振動子において・ガスセンサ（例えば、FCXO-02、リバーエレテック）103aを行方向、列方向にそれぞれ5個づつ、計5×5=25個を、プリント基板上に均等に配置し、2次元状にセンサアレイを構成したものである。この5×5個というアレイサイズについては、方向推定に必要な最低限のデータを得るため、かつ比較的容易に実現できるという理由から決定した。例えば、センサの間隔（中心間の距離）は12.7mmであり、センサアレイの大きさは50.8mm×50.8mmである。センサアレイ部103の25個のセンサ出力（周波数変化）は、同時並列に25ch周波数カウンタおよびシリアルインターフェイス部102（サンプリング間隔：1秒）に取り込まれる。

【0070】この25ch周波数カウンタおよびシリアルインターフェイス部102は、例えば、FPGA（Field Programmable Gate array）で構成されている。発振回路内蔵型センサを用いたため大部分の回路をFPGA内に納めることができ、装置全体の小型化が実現できる。また、発振回路とFPGAとの配線を最短にし、かつ電源からの回り込みを防ぐために、各センサに1つずつ3端子チップコンデンサを用い、電源とGNDをバイパスした。これらの対策により、発振回路間の干渉を防ぐことができる。

【0071】図9のセンサアレイ部103と多チャンネル周波数カウンタおよびシリアルインターフェイス部102は、例えば、2層構造で構成することができる。すなわち、上層の基板にはセンサアレイ部103が実装されており、多チャンネル周波数カウンタおよびシリアルインターフェイス部102等の電気回路は下層の基板に実装する構成であってもよい。

【0072】コンピュータ1は、例えば、モニタを含むパーソナルコンピュータで、装置全体の制御を行うとともに、毎秒送られてくるセンサ応答から、4段階の階調

でセンサアレイ上において・ガス濃度分布を画像（において・ガス流の可視化画像）としてモニタに表示する。25個の各センサ103aの出力は、水晶振動子の発信周波数の変化として現れ、それを測定することでにおいて・ガス濃度分布を測定するものである。具体的には、測定開始以降に得られた最大応答により各センサ応答は、適当に定めた閾値により4段階に分類され、各段階に異なった階調を割り当てる。において・ガス濃度が高いほど明るい階調として、濃度の分布を色調の分布として表示する。

【0073】なお、センサアレイ部103中の各センサ103aには感度のばらつきがある。そこで、予めセンサアレイ部103全体に容器をかぶせ密閉し、すべてのセンサ103aを同じ濃度のトリエチルアミンガスにさらして応答を比較し、この結果から各センサに応じた定数乗じ、全センサの感度ができるだけ揃うように較正することが望ましい。

【0074】（方向推定アルゴリズム）図9に示した装置により、において・ガス流の可視化画像が得られれば、においてガス流の方向を人間が見て判断できる。また、各種画像処理アルゴリズムを用い、方向を自動判定することも可能である。このにおいて・ガス流の可視化画像から

$$\frac{\partial \ell}{\partial x} u + \frac{\partial \ell}{\partial y} v + \frac{\partial \ell}{\partial t} = 0 \quad \dots (5)$$

【0078】となる。

【0079】第*i*行*j*列目のセンサ応答を*l_{ij}*とおき、上式（5）に含まれる微分を中心差分近似にする

$$\begin{aligned} & \frac{\ell_{i+1,j}(k\Delta t) - \ell_{i-1,j}(k\Delta t)}{2\Delta d} u + \frac{\ell_{i,j+1}(k\Delta t) - \ell_{i,j-1}(k\Delta t)}{2\Delta d} v \\ & + \frac{\ell_{i,j}(k\Delta t + \Delta t) - \ell_{i,j}(k\Delta t - \Delta t)}{2\Delta t} = 0 \end{aligned} \quad \dots (6)$$

【0081】ただし、 Δd はセンサ間隔（12.7mm）、 Δt はサンプリング時間（1秒）である。において・ガス流の流速ベクトル（*u*、*v*）は*i*、*j*によらず一定と考え、上式（6）を*i*=2、3、4、*j*=2、3、4に対して連立し、最小2乗法により、*u*、*v*を求める。

【0082】（結果）

（において・ガス流可視化実験）図8の測定と同じ風洞（図4と同様な風洞）の中で、図8と同様な環境条件で小型水晶振動子において・ガスセンサのトリエチルアミンガスに対するにおいて・ガス流の可視化実験を行った。ただし、微風速環境下で実験を行うため、風速は平均で約3cm/秒とした。1回の測定は300秒間行い、最初の15秒はセンサのベースラインを測定し、その後、試験管上部の気体部分（ヘッドスペース）に溜まったトリエチルアミンガスをエアポンプで押し、流量75m/分で3分間噴出した。

【0083】において・ガスを噴出している間に得られた動画像の例を図10（a）～（f）に示す。図10は2

方向と流速を判定する処理は、図9のパーソナルコンピュータ1で行うことができる。

【0075】ここでは、将来的に計算を回路化して実時間処理を行うことを考え、計算の容易なオプティカルフローの拘束方程式による方向推定法（T. Yamanka, H. Ishida, T. Nakamoto, T. Moriizumi, . Sensors and Actuators A, 69, 77～81（1998）、B. K. P. Horn, "ロボットビジョン" 朝倉出版、305～328（1993））を用い、方向の自動判定を試みる。この方程式は、画像処理の分野でも、画像から物体とカメラの相対運動を復元するためによく用いられる。

【0076】において・ガスの分子拡散を無視し、可視化されたにおいて・ガス濃度分布が一定の形状を保ったまま2次的にセンサアレイ上を流れると仮定する。において・ガス流の*x*軸方向（例えば、センサアレイの行方向）成分を*u*、*y*軸方向（例えば、センサアレイの列方向）成分を*v*、において・ガスセンサの応答を*l*とすれば、オプティカルフローの拘束方程式は、

【0077】

【数3】

と、時刻*k*では以下の拡散方程式が成り立つ。

【0080】

【数4】

値化した画像であり、において・ガス濃度が高い部分が黒く、低い部分が白く表示されている。図10（a）～（c）、及び（d）～（f）はそれぞれ連続した3秒間で、どちらもにおいて・ガス噴出から60秒以上経過した後の画像である。において・ガスの塊が左から流れてきて右に流れ去る様子が可視化されている。

【0084】第1の実施形態で説明した半導体において・ガスセンサの場合、時定数が数十秒と長いため、短時間の計測は相互干渉等のため困難であったが、本実施形態の水晶振動子において・ガスセンサアレイを用いた計測は、時定数が通常1秒前後と速く、明瞭な画像が得られる。

【0085】すなわち、第1の実施形態では前述した通り、において・ガス噴出の最初と最後しか可視化することができなかったが、図10から明らかなように、本装置において、ほぼ常時において・ガスの流れる方向を確認することができた。風の乱れにより断片化されたプルームが、不景則な形でアレイ上を通過するので、センサの応答・回復が速ければ常時において・ガスが流れる方向を確

認することができる。

【0086】（アルゴリズムによる自動方向推定）（方向推定アルゴリズム）で述べた方法に従い、第2の実施形態に係るにおい・ガス可視化装置で得られた動画像からにおい・ガス流の方向推定を行った。図11にその結果を示す。図11に示すように、におい・ガス源からセンサアレイまでの距離と、センサアレイに対してにおい・ガスが入射する方向をパラメータとし、

条件1：センサアレイの入りがにおい・ガス源から20cmで入射角度が0度

条件2：センサアレイの入りがにおい・ガス源から20cmで入射角度が-45度

条件3：センサアレイの入りがにおい・ガス源から30cmで入射角度が0度

条件4：センサアレイの入りがにおい・ガス源から30cmで入射角度が-45度

この4つの条件のそれぞれの場合における計4回分の動画像データに対して推定実験を行なった。使用したデータは、300秒分のうちガスがセンサアレイに到着した直後からガス噴出を止めたときまでのデータとした。ただし、風洞内の風には乱れがあるので風向+-45度以内に推定された場合を正解とした。

【0087】条件1から条件4の全ての場合において、最低でも49%が正解方向に推定された。これは風洞内の風の乱れを考えると、高い正解率といえる。また、条件4の推定結果をヒストグラムで表したものを図12に示す。正解方向は-45度であり、点線で仕切った内側が正解域である。正解方向付近には多く推定されているのに対し、反対方向付近にはほとんど推定されていないことが分かる。実際のにおい・ガス源探知では、多数の場所で何度も方向推定を行うのでこの程度の正解率が得られればにおい源探知は可能であると思われる。

【0088】（まとめ）上記したような発振回路内蔵の小型水晶振動子におい・ガスセンサを用いたにおい・ガス流可視化装置によれば、平均風速3cm/秒程度のにおい・ガス流に対し、ほぼ常時におい・ガスの流れる様子を確認できた。また、得られた動画像に対しオブティカルフローの拘束方程式に基づいた画像処理アルゴリズムを用い、におい・ガス流の自動方向推定が可能であることが確認された。

【0089】（第3の実施形態）第1の実施形態で説明したパルス駆動型半導体におい・ガスセンサアレイ3、第2の実施形態で説明した小型水晶振動子におい・ガスセンサアレイ103を用いて、におい・ガス流の可視化を試みる場合、におい・ガス流の流れの方向がセンサ面（センサアレイ3、103のにおい・ガスセンサ素子の配置されている面）と平行でないと、図13（a）に示したように、におい・ガス流がセンサアレイ3、103に当たり、センサ面上で乱気流が発生し、測定対象のにおい・ガス流の流れ自体を乱してしまい、におい・ガス

流の流れの正確な測定ができないという問題点があった。すなわち、センサアレイ3、103のセンサ面と、におい・ガス流の流れの方向とが常に平行であることが望ましい。しかし、実際には、流れの方向が未知のにおい・ガス流を測定するのであるから、必ずしもセンサ面とにおい・ガス流の流れの方向とが平行であるとは限らない。

【0090】そこで、図13（b）に示したように、センサアレイ3、103上のセンサ素子全体を覆うようにセンサ面と平行の板（ガイド板）を所定の間隔を存して配置する。すると、図13（a）に示したようなセンサ面中央部に乱気流を発生させるようなにおい・ガス流はガイド板で遮蔽され、周囲の開口部を通ってくる（センサ面とガイド板との間を通ってくる）におい・ガス流のみを取り込み、排出し、よって、センサアレイ3、103は、におい・ガス流の流れ方向のうちセンサ面と平行な成分だけを取り出して測定することができる。

【0091】図14は、におい・ガス流可視化装置のセンサアレイ3、103のセンサ面の上部にセンサ面を覆うように平行に上記したガイド板201を設けて、風洞実験を行う場合の様子を示したものである。センサアレイ3、103の大きさ、におい・ガス流の速度、方向等の条件にもよるが、ここでは、例えば、センサアレイ3、103の一辺がたかだか5cm程度であるので、センサアレイ3、103とほぼ同じ大きさのガイド板201をセンサ面からおおよそ1cm前後の高さの位置にセンサアレイ3、103の4角に立てた支柱で支持する。

【0092】これにより、センサアレイ3、103は、におい・ガス流の流れ方向のうちセンサ面と平行な成分だけを取り出して測定することができるので、より正確ににおい・ガス流の方向および速度を測定できる。

【0093】（第4の実施形態）図15は、第1の実施形態で説明したパルス駆動型半導体におい・ガスセンサアレイ3、第2の実施形態で説明した小型水晶振動子におい・ガスセンサアレイ103のセンサ面（検知面）からみたにおい・ガス流の方向および流速を検知できる有効成分を示したものである。

【0094】図15に示すように、センサアレイ3、103のセンサ面上の任意の点に着目したとき、センサアレイ3、103は、そのセンサ面と平行方向を最大感知方向とする断面が円のドーナツ状で表される曲線m1、m2を横切るにおい・ガス流の方向のみを検知するようになっている。すなわち、センサ面に対するにおい・ガス流の入射角 θ が90度のときは、当該におい・ガス流はセンサ面上のその入射点を交点とする曲線m1、m2を横切ることがないので、その流れは検知できない。例えば、入射角 $\theta = 45$ 度で、速度10m/秒のにおい・ガス流は、センサ面に平行な成分のみ、すなわち、表面での流速を考えると、入射角 θ の $\cos \theta$ 分の逆数となり、

$$10 / \cos 45^\circ = 10 / 2^{1/2}$$

と測定されることになる。

【0095】なお、センサ面が上下の両面にある場合は、図15に示すようなセンサ面を挟む円状の曲線が感度成分となり、センサ面が上面のみの場合は曲線m1、m2の上側の半円状の曲線が感度成分となる。

【0096】従って、センサ面が上面のみのセンサアレイ3、103を1枚のみ用いてにおい・ガス流の可視化、および方向、速度を測定するのでは、におい・ガス流を一平面的にしか捉えることができない。しかし、におい・ガス流を多面的に捉えることができれば、より正確ににおい・ガス流の方向、速度の測定が行えるので、本実施形態ではこの点に着目する。

【0097】そこで、本実施形態に係るにおい・ガス流可視化装置は、複数の2次元平面上センサアレイを組み合わせて用いることを考える。例えば、図16に示すように、2枚のセンサアレイA1、A2（例えば、第1の実施形態で説明したパルス駆動型半導体におい・ガスセンサアレイ3、第2の実施形態で説明した小型水晶振動子におい・ガスセンサアレイ103のいずれか一方を2枚、あるいは各々1枚ずつでもよい）の一方をxz平面に、他方をyz平面にと、お互い垂直に交わるように配置して、におい・ガス流計測部を構成する。このにおい・ガス流計測部を構成するセンサアレイA1、A2のそれぞれをパーソナルコンピュータ1等の他の機器に接続して、におい・ガス流可視化装置を構成する。

【0098】すると、図17に示すように、におい・ガス流のセンサアレイA1のセンサ面に垂直な成分（におい・ガス流のセンサアレイA1のセンサ面に対する入射角 θ が90度となる成分）の方向・速度は、センサアレイA1からは不明であっても、センサアレイA2のセンサ面で測定することができ、両方のセンサアレイA1、A2のそれぞれで測定された当該におい・ガス流の速度、方向を合成することで、3次的ににおい・ガス流を捉えることができる。

【0099】複数のセンサアレイを組み合わせて用いる場合の例としては、図16に示したように、2枚のセンサアレイを互いに垂直関係となるように組み合わせる以外にも、図18に示すような組み合わせ方もある。なお、以下でセンサアレイという場合、第1の実施形態で説明したパルス駆動型半導体におい・ガスセンサアレイ3、第2の実施形態で説明した小型水晶振動子におい・ガスセンサアレイ103のいずれも含まれる。

【0100】図18（a）は、2枚のセンサアレイ301a、301bをそれぞれの裏面（センサの配置されていない面）を向かい合わせにして組み合わせて構成されたにおい・ガス流計測部300である。このにおい・ガス流計測部300では、センサアレイ301aと301bとで、上面側と下面側を流れるにおい・ガス流を検知できる。

【0101】図18（b）は、立方体（あるいは直方体）の各面の中央部に6枚のセンサアレイ302a～302fのそれぞれをそのセンサ面を立方体（あるいは直方体）の内部に向けて貼り付けて、その内部を流れるにおい・ガス流を計測する場合を示している。この立方体（あるいは直方体）形状のにおい・ガス流計測部310の各面（あるいは6枚のうちの一部の面）はにおい・ガス流が何ら遮蔽されることなく通過するような構造となっている。そして、この立方体（あるいは直方体）の内部を流れるにおい・ガス流を各面のセンサアレイ302a～302fで計測して得られたデータを合成することにより、どの方向からきた流れに対しても少なくとも3面から計測可能なら、その得られたデータを合成することで当該におい・ガス流の3次的な方向、速度を求めることができる。ここで示す立方体（あるいは直方体）は、センサアレイ302a～302fの大きさがたかだか5cm四方であることを考慮すれば、例えば、縦、横、高さが50cm程度の大きさのものであるが、その大きさは、とくに限定するものではない。

【0102】なお、センサ面を立方体（あるいは直方体）の外部に向けて貼り付けても同様な効果が得られる。この場合を図18（c）に示す。

【0103】図18（c）に示す立方体（あるいは直方体）形状のにおい・ガス流計測部320は、立方体（あるいは直方体）の各面の中央部に6枚のセンサアレイ303a～303fのセンサ面を立方体（あるいは直方体）の外部に向けて貼り付けて、その外部を流れるにおい・ガス流を計測するものである。

【0104】図18（d）に示す球状のにおい・ガス流計測部330は、所定の大きさの球面上にセンサアレイあるいはセンサ素子そのものを配置したものである。このように、できるだけ多くの方向にセンサアレイを設けることにより、あらゆる方向からのにおい・ガス流を1カ所にいながら3次的に容易に計測することができる。

【0105】図19は、例えば、図18（c）に示すようなにおい・ガス流計測部320（あるいは、図18（a）～（d）に示す各におい・ガス流計測部のいずれであってもよい）を用いてにおい・ガス流を計測する場合のにおい・ガス流計測部320のにおい・ガス流の流れる計測場所（例えば、風洞）への配置例について示したものである。

【0106】におい・ガス流計測部320は、計測場所（ここでは、例えば立方体形状）の上部の4角から線材402a～402dを用いて計測場所のほぼ中央部に宙吊りにされ、におい・ガス流計測部320の各センサアレイ303a～303fをパーソナルコンピュータ1等の他の機器403に接続して、におい・ガス流可視化装置を構成する。

【0107】図19に示したように、複数のセンサアレイ

イを組み合わせ構成されたにおい・ガス流計測部をにおい・ガス流の計測場所に宙吊りにして用いることにより、あらゆる方向からのにおい・ガス流を同時多点計測することができ、より正確におい・ガス流の方向および速度を測定できる。

【0108】図19に示したようににおい・ガス流計測部を配置することにより、におい・ガス流計測部320自体は、より小型化が可能となる。

【0109】複数のセンサアレイを組み合わせるにおい・ガス流計測部を構成する場合、複数のセンサアレイの全てあるいは、そのうちの1つあるいはいくつかについて、第3の実施形態で説明したようなガイド板を設けてもよい。

【0110】以上、種々の例を説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではなく、種々変形して応用可能である。

【0111】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、ガスセンサの配置位置の選定を行う必要がなく、風の局所的な乱れの影響を受けにくく、短時間で信頼性の高いにおい・ガス流の方向判定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかるにおい・ガス流可視化装置の構成例を示した図。

【図2】図1のセンサアレイ3の動作について説明するためのタイミングチャート。

【図3】パルス駆動型半導体ガスセンサのエタノールガスに対する応答校正曲線を示した図。

【図4】におい・ガス流可視化装置を用いたにおい・ガス流可視化実験を行った風洞の構成例を示した図。

【図5】風向きと並行に並ぶ5個のセンサ素子のセンサ応答の時間の経過に伴う変化の一例を示した図。

【図6】センサアレイ3のセンサ応答を可視化した動画画像の一例を示した図。

【図7】図6に示した可視化画像に対し、ガス流の方向および流速の推定を行った結果をまとめたテーブルを示した図。

【図8】第1の実施形態で使用したパルス駆動型半導体におい・ガスセンサ（例えば、TGS2440）のエタノールガスに対する応答波形の例と第2の実施形態に係

る小型水晶振動子におい・ガスセンサのトリエチルアミンガスに対する応答波形の例を示した図。

【図9】小型水晶振動子におい・ガスセンサアレイを用いたにおい・ガス流可視化装置の構成例を示した図。

【図10】におい・ガスを噴出している間に得られた動画画像の例を示した図。

【図11】第2の実施形態に係るにおい・ガス可視化装置で得られた動画画像からにおい・ガス流の方向推定結果を示した図。

【図12】方向推定結果（図11の条件4の場合）をヒストグラムで表した図。

【図13】センサアレイのセンサ面上で発生する乱気流に対する対策について説明するための図。

【図14】ガイド板の設けられたセンサアレイにおい・ガス流可視化装置で、風洞実験を行う場合の様子を示した図。

【図15】センサアレイのセンサ面（検知面）からみたにおい・ガス流の方向を検知できる有効領域を示した図。

【図16】2枚のセンサアレイを組み合わせ構成されたにおい・ガス流計測部の一例を示した図。

【図17】図16のにおい・ガス流計測部のにおい・ガス流の方向を検知できる有効領域を示した図。

【図18】複数のセンサアレイを組み合わせ構成されたにおい・ガス流計測部の他の例を示した図。

【図19】複数のセンサアレイを組み合わせ構成されたにおい・ガス流計測部のにおい・ガス流の流れる計測場所（例えば、風洞）への配置例について示した図。

【符号の説明】

1…パーソナルコンピュータ

2…制御回路

3…センサアレイ（パルス駆動型半導体におい・ガスセンサアレイ）

4…対数変換回路

5…A/D変換器

102…多チャンネル周波数カウンタおよびシリアルインターフェイス部

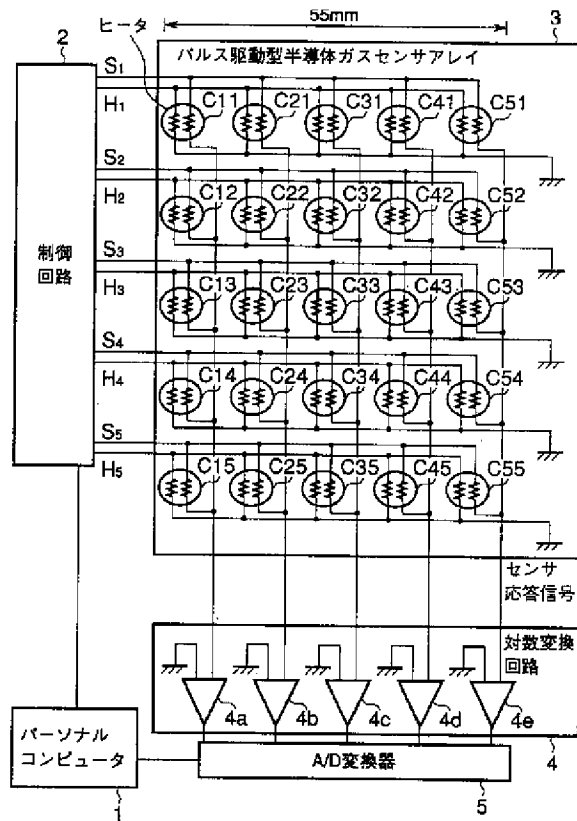
103…センサアレイ（水晶振動子におい・ガスセンサアレイ）

【図11】

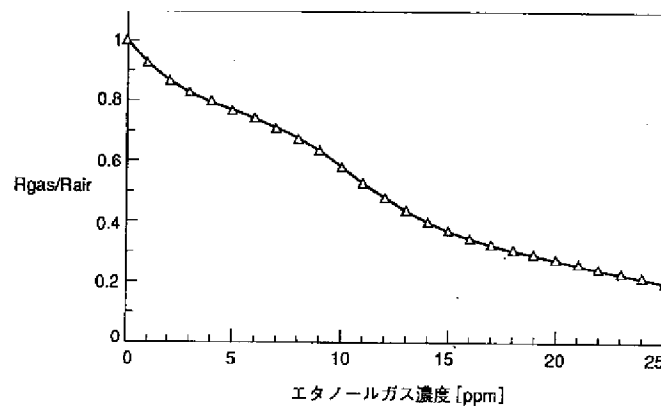
ガス流方向の自動推定結果

| センサアレイの位置 | 入射角度(度) | 正解率(%) |
|------------|---------|--------|
| ガス源から 20cm | 0 | 49 |
| ガス源から 20cm | -45 | 67 |
| ガス源から 30cm | 0 | 62 |
| ガス源から 30cm | -45 | 72 |

【図1】



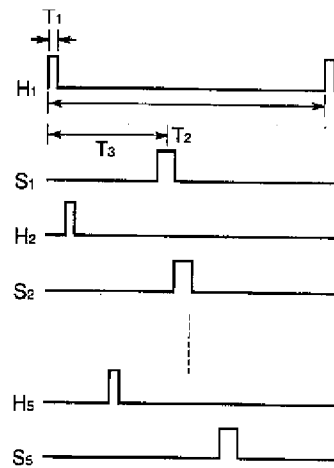
【図3】



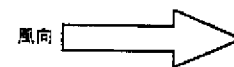
【図7】

| | 方向 [deg] | 速さ [cm/s] |
|---------|----------|-----------|
| (a)→(b) | 47.8 | 1.31 |
| (b)→(c) | 20.7 | 0.88 |
| (c)→(d) | 82.4 | 0.94 |
| (e)→(f) | 31.7 | 0.62 |
| (f)→(g) | -10.3 | 0.37 |
| (g)→(h) | -42.7 | 0.84 |

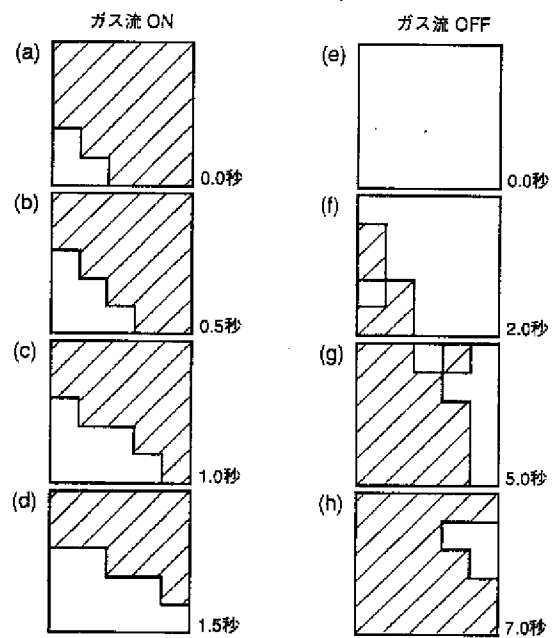
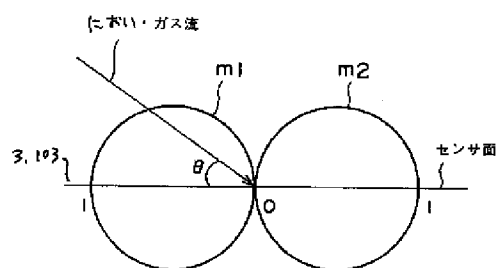
【図2】



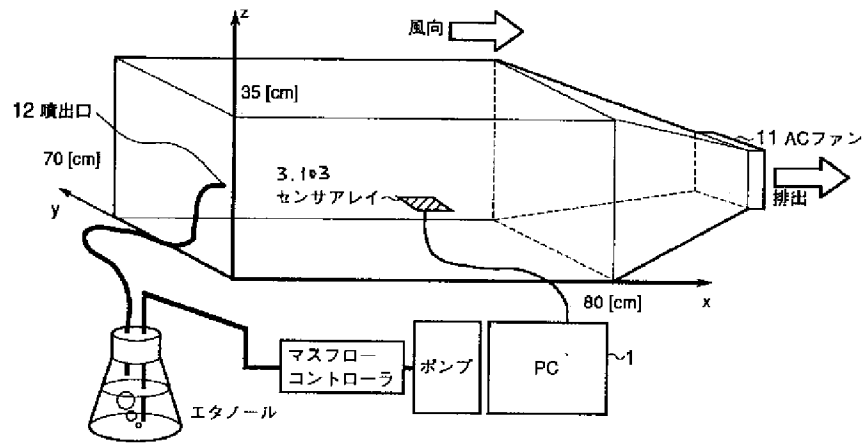
【図6】



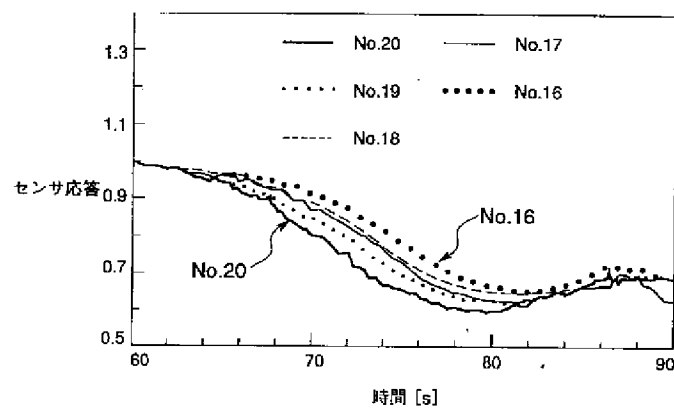
【図15】



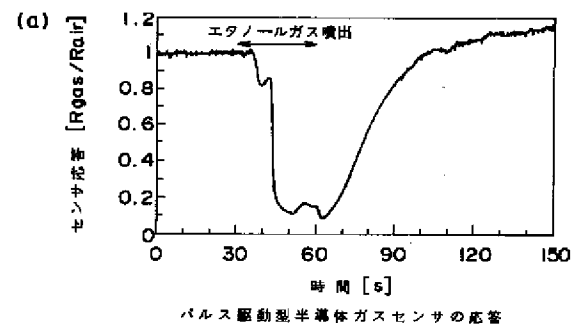
【図4】



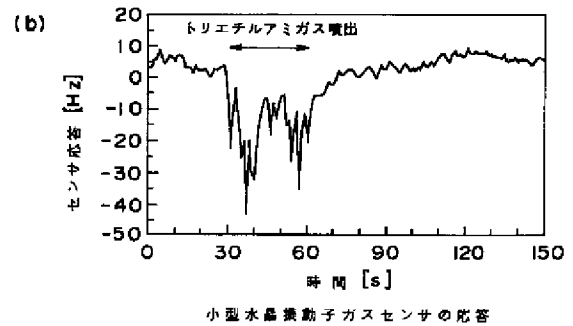
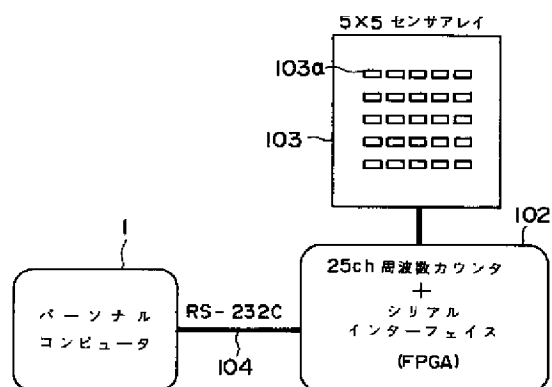
【図5】



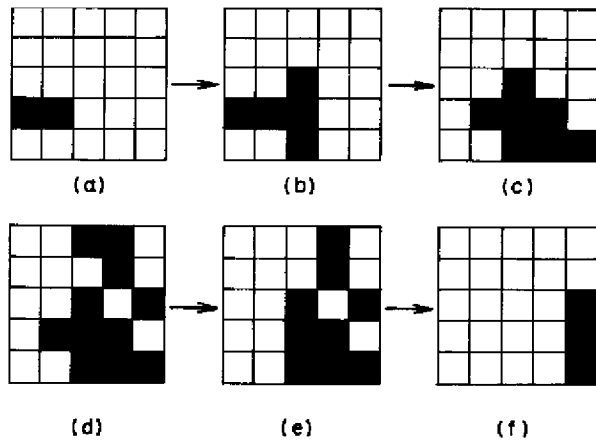
【図8】



【図9】

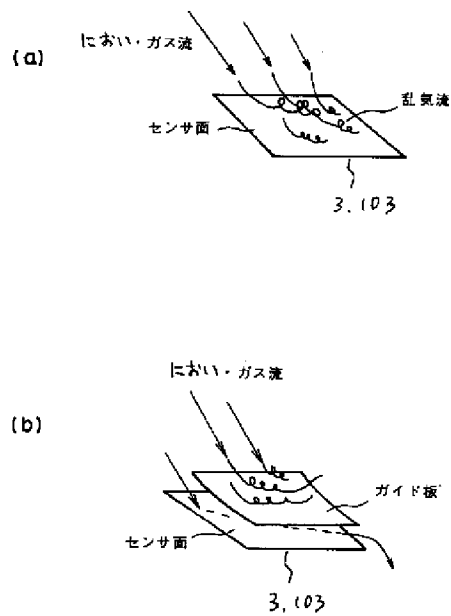
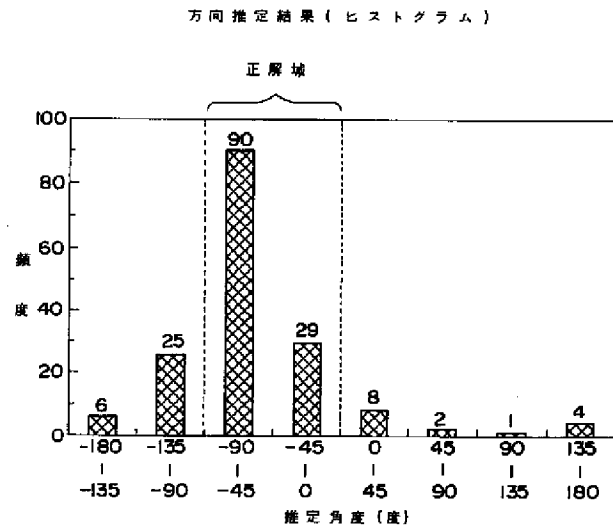


【図10】

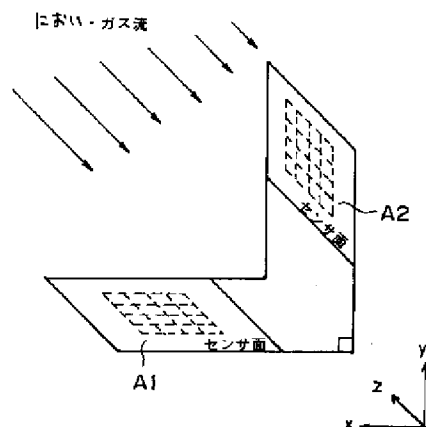


【図13】

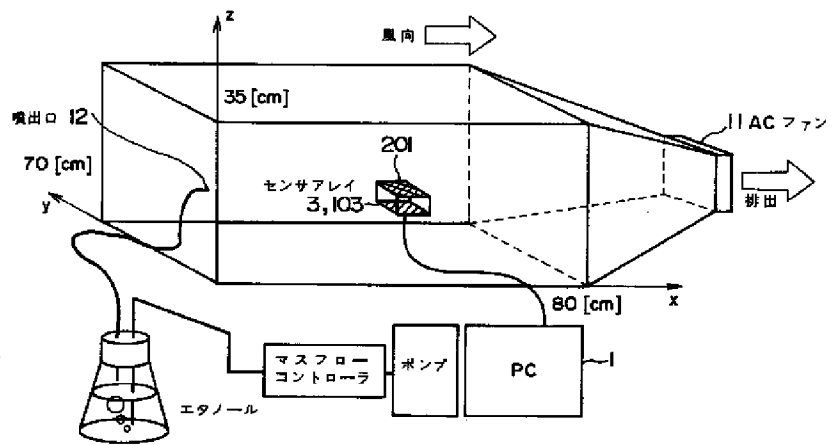
【図12】



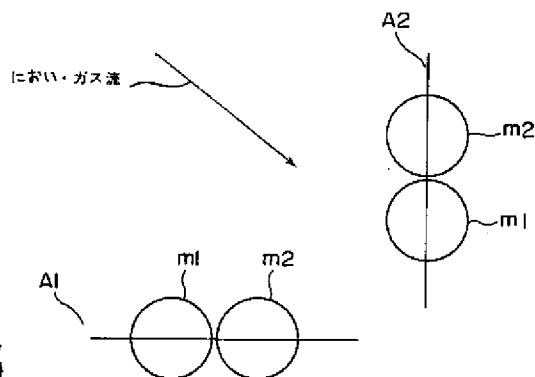
【図16】



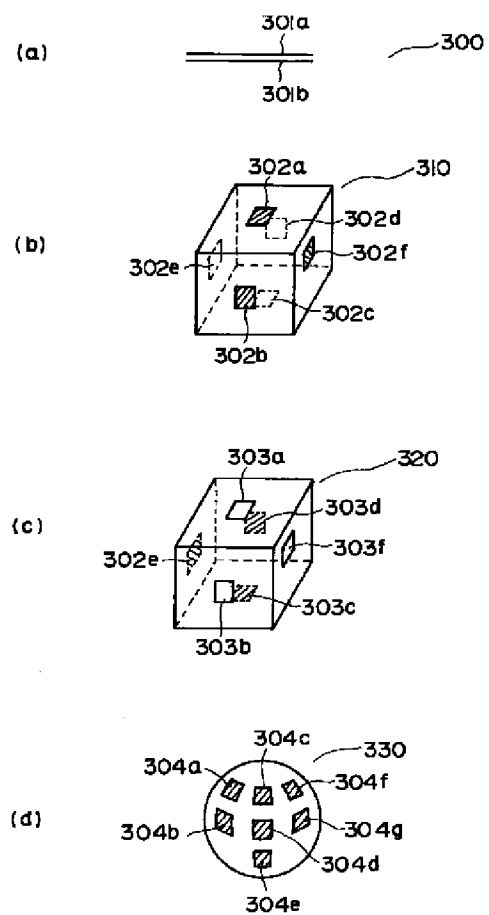
【図14】



【図17】



【図18】



【図19】

